

**Таблица 2.** Прочность на сжатие исследуемых цементов, МПа

Цементы	Время твердения, сут				
	1	3	7	14	28
№1	29	32	24	28	36
№2	32	31	25	38	40
№3	36	37	44	52	56

$S=0,34$ .

Из полученных спеков были приготовлены цементы. Содержание гипса в составе цемента – 15 %, дисперсность –  $S_{уд.} \sim 320 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Физико-механические испытания образцов (табл. 2), которые были изготовлены при нормальной густоте и твердевшие в нормальных условиях, показали, что прочность цемента на основе клинкера с сульфатным модулем  $S=0,34$  выше, в отличие от цементов на основе клин-

керов с сульфатными модулями  $S=0,26$  и  $0,30$ . Повышенные прочностные характеристики цементного камня определены высоким содержанием основного клинкерного минерала – сульфоалюмината кальция – в количестве 59,9%.

Проведенные исследования показывают техническую возможность производства качественных сульфоалюминатных клинкеров с использованием техногенного материала – фосфогипса и шлака вторичной переплавки алюминия.

### Список литературы

1. Кузнецова Т.В. *Алюминатные и сульфоалюминатные цементы.* – М.: Стройиздат, 1986. – 208с.
2. Кривобородов Ю.Р., Самченко С.В. *Физико-химические свойства сульфатированных клинкеров.* – М.: ВНИИЭСМ, 1991. – 55с.
3. Кузнецова Т.В., Кривобородов Ю.Р. // *Технологии бетонов*, 2014. – №2. – С.8–11.

## ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $\text{SiO}_2\text{--P}_2\text{O}_5\text{--CaO--MgO}$

Е.А. Изосимова, Е.С. Лютова

Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.П. Борило

Национальный исследовательский Томский государственный университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 36, eowacom@gmail.com

В области медицинских исследований широкое применение находят кальций-фосфатные материалы, которые относятся к классу биоактивных изделий. Высокий интерес к таким материалам обусловлен способностью к образованию апатитоподобных структур, состав которых эквивалентен минеральной фазе в кости [1]. Образование апатитоподобного слоя способствует естественному восстановлению костной ткани.

Российскими и зарубежными учеными доказана биоактивность оксидной системы  $\text{SiO}_2\text{--P}_2\text{O}_5\text{--CaO}$  [2]. Одним из способов получения необходимых микроскопических и макроскопических свойств, повышающих биоактивность данной системы является добавление магния. Магний входит в первую четверку минералов в организме, а по содержанию в клетке занимает второе место. Кроме того, магний играет важную роль в развитии и восстановлении костной

ткани человека за счет стимуляции пролиферации остеобластов [3].

Были получены пленкообразующие растворы на основе этилового спирта, тетраэтоксисилана, фосфорной кислоты, нитратов кальция и магния. Для исследования физико-химических свойств материалов на основе оксидной системы  $\text{SiO}_2\text{--P}_2\text{O}_5\text{--CaO--MgO}$  были выбраны составы со следующим содержанием оксидов: 1 состав: 52–18–25–5; 2 состав: 52–18–20–10; 3 состав: 52–18–15–15; 4 состав: 52–18–10–20 масс. %, соответственно.

Кинематическая вязкость растворов определена в капиллярном вискозиметре ВПЖ-2 по времени истечения определенного объема жидкости при комнатной температуре. Для четырех выбранных составов в первые сутки вязкость растворов имеет значение в интервале от 1,72 до 1,82 мм<sup>2</sup>/с. На вторые сутки в растворах с

содержанием магния 5, 10 и 15 масс. % наблюдалось значительное уменьшение вязкости, а на третьи сутки выпадение белого мелкодисперсного осадка. Раствор с содержанием магния 20 масс. % устойчив в течение 13 суток.

Выпадение осадка в растворах с содержанием магния 5, 10 и 15 масс. % связано с тем, что в растворах помимо процессов гидролиза и поликонденсации присутствует электростатическое взаимодействие между растворенными ионами и молекулами растворителя, которые могут приводить как к повышению, так и к понижению значения вязкости. Так как вязкость растворов уменьшается, а реакции гидролиза и поликонденсации протекают практически мгновенно, то уменьшение вязкости происходит за счет электростатического взаимодействия растворенных ионов и молекул растворителя – этилового спирта.

На основании данных термического анализа и ИК-спектроскопии порошков, отожженных в интервале температур 250–800 °С были определены основные стадии процесса формирования оксидной системы.

В области температур от 25 до 200 °С на-

блюдается удаление физически и химически связанной воды.

В области от 200 до 600 °С происходит сгорание спирта и продуктов термоокислительной деструкции этоксигрупп, а также разложение нитратов.

При температуре выше 600 °С происходят переходы аморфных структур в кристаллические.

Рентгенофазовым анализом подтверждено, что при 600 °С образцы с различных содержанием магния в системе являются аморфными. При 800 °С в образце с содержанием магния 5 масс. % определены фазы кварц  $\text{SiO}_2$ , витлокит  $\text{Ca}_{2,589}\text{Mg}_{0,411}(\text{PO}_4)_2$ . В образцах с содержанием магния 10, 15 и 20 масс. % идентифицируются фазы  $\beta$ -кristобалит  $\text{SiO}_2$ , стенфилдит  $\text{Mg}_3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_4$ .

По результатам растровой электронной микроскопии и методом рентгеноспектрального микроанализа установлено, что поверхность дисперсных материалов имеет неоднородную пористую структуру с равномерным распределением элементов.

### Список литературы

1. Owens G.J., Singh R.K., Foroutan F., Alqayasi M., Han C.-M., Mahapatra C., Kim H.-W., Knowles J.S. Sol-gel based materials for biomedical applications // *Progress in Materials Science*, 2016. – Vol.77. – P.1–79.
2. Борилю Л.П., Лютова Е.С. Синтез и свойства биоактивных тонкопленочных материалов на основе систем  $\text{SiO}_2\text{--P}_2\text{O}_5\text{--CaO}$  и  $\text{SiO}_2\text{--P}_2\text{O}_5\text{--CaO--TiO}_2$  // *Неорганические материалы*, 2017. – Т.53. – №4. – С.1–6.
3. Rabiee S.M., Nazparvar N., Azizian M., Vashaei D., Tayebi L. Effect of ion substitution on properties of bioactive glasses: A review // *Ceramics International*, 2015. – Vol.41. – №6. – P.7241–7251.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАРБАМИДА

С.Д. Исмоилов

Научный руководитель – к.х.н., доцент Д.А. Горлушко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, donik.tpu@gmail.com

Карбамид (мочевина) – химическое соединение, диамид угольной кислоты с формулой  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ . Главным образом применяется в качестве азотного удобрения. Показатели качества минеральных удобрений определяются совокупностью тесно связанных друг с другом характеристик, таких как: содержание питательных веществ, гигроскопичность, гранулометрический

(фракционный) состав, прочность гранул, насыпная плотность и другие. Нормы по показателям качества устанавливаются соответствующими нормативно-техническими документами на минеральные удобрения [1–4].

Целью работы является определение основных показателей качества карбамида  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ .

В качестве объекта исследования был выбран